



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 054 242 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
22.11.2000 Patentblatt 2000/47

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: G01G 21/24, G01G 7/02

(21) Anmeldenummer: 00110156.7

(22) Anmeldetag: 12.05.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 20.05.1999 DE 19923208

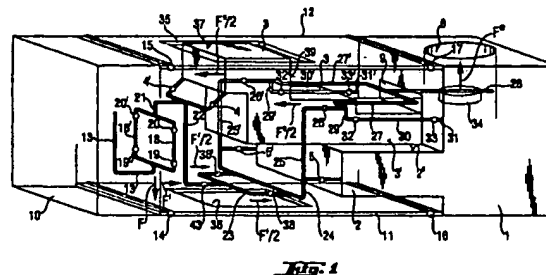
(71) Anmelder: SARTORIUS AG  
37075 Göttingen (DE)

(72) Erfinder:  
• Müller, Michael  
37079 Göttingen (DE)  
• Bajohr, Ulrich  
37113 Duderstadt (DE)  
• Schulze, Werner  
37083 Göttingen (DE)  
• Müller, Rudolf  
37120 Bovenden (DE)  
• Erben, Detlef  
37077 Göttingen (DE)  
• Engelhardt, Herbert  
37186 Moringen (DE)

### (54) Wägeaufnehmer

(57) Bei einem Wägeaufnehmer nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation, sind dessen wesentliche Teile aus einem einzigen Materialblock herausgearbeitet. Dieser ist mit einem Lastaufnehmer (10) ausgestattet, der durch einen oberen (12) und einen unteren Lenker (11) mit dem gehäusefesten Grundkörper (1) des Materialblocks verbunden ist und weist mehrere Übersetzungshebel (21,22; 24,25,25'; 27,27',28) zur Kraftumsetzung, Koppelemente (18,18',23,26,26') zwischen den Übersetzungshebeln (21,22; 24,25,25'; 27,27',28) und zwischen dem Lastaufnehmer und dem ersten Übersetzungshebel (21,22) auf, wobei der gehäusefeste Grundkörper (1) sich in Richtung zum Lastaufnehmer (10) vorkragend in den Raum zwischen den beiden Lenkern (11,12) hinein erstreckt und nahe an seinem vorkragenden Ende (3) den Abstützpunkt für den ersten Übersetzungshebel (21,22) bildet, und mit einer Spule (34) ausgestattet ist, die am längeren Hebelarm (28) des letzten Übersetzungshebels (27,27',28,29,29') befestigt ist und die sich im magnetischen Feld eines gehäusefesten Permanentmagneten befindet. Zur Reduzierung der Bauhöhe und Aufnahme höherer Lasten wird vorgeschlagen, dass mindestens ein Übersetzungshebel zumindest teilweise in zwei Teilhebel (25, 25'; 27, 27'; 29, 29') aufgeteilt ist, dass mindestens ein Koppelement in zwei Teilkoppelemente (26, 26'; 38, 38') aufgeteilt ist und dass die Teilhebel und die Teilkoppelemente symmetrisch auf beiden Seiten des vorkragenden Teils (3) des gehäusefesten Bereiches (1) angeordnet sind und dass alle Übersetzungshebel, alle Teilhebel, alle Koppele-

mente und alle Teilkoppelemente monolithischer Bestandteil des Materialblocks sind. Bei dieser Bauform werden Teile der kraftumsetzenden Hebelanordnung in zwei kraftmäßig parallel geschaltete Teilstränge gabelförmig aufgespalten, die symmetrisch neben dem vorkragenden Teil (3) angeordnet sind. Dadurch können drei Übersetzungshebel komplett aus einem einzigen Metallblock herausgearbeitet werden, der trotzdem sehr stabil gegenüber allen an einer Waage auftretenden Belastungen ist. Dabei kann mindestens ein Hebel auch eine Aufnahme für die direkte Auflage eines Kalibriergewichtes aufweisen.



EP 1 054 242 A2

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Wägaufnehmer nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs. Der Wägaufnehmer nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation, dessen wesentliche Teile aus einem einzigen Materialblock herausgearbeitet sind, hat einen vertikal beweglichen Lastaufnehmer, der durch an einem feststehenden Grundkörper des Materialblocks angelenkte Parallelführungselemente geführt ist. Der Lastaufnehmer ist mit mehreren zwischen diesem, einem Spulenträger und dem Grundkörper wirkungsmäßig in Reihe angeordneten Kraftübertragungselementen gekoppelt.

[0002] Wägaufnehmer dieser Art sind z. B. aus der EP 518 202 A1 bekannt. Nachteilig an dieser bekannten Bauart ist, dass für den Permanentmagneten kein Platz innerhalb des einstückigen Blocks bleibt. In der EP 518 202 A1 ist deshalb vorgesehen, dass der Permanentmagnet außerhalb des einstückigen Blocks angebracht ist und dass der letzte Übersetzungshebel von mehreren Übersetzungshebeln durch seitliche Verlängerungsstücke, die die Spule tragen, verlängert ist. Dadurch sind aber die funktionellen und preislichen Vorteile des einstückigen Aufbaus teilweise verloren. Außerdem erfordert die Anordnung aller drei Übersetzungshebel übereinander eine große Bauhöhe. Alle Parallelführungselemente und Kraftübertragungselemente sind entsprechend der Blockbreite dimensioniert und über- und hintereinander angeordnet, wodurch die Bauform relativ hoch und schmal ist.

[0003] Ein ähnlicher Wägaufnehmer mit zwei Übersetzungshebeln ist aus der DE 195 40 782 A1 bekannt. Es ist jedoch problematisch, mit zwei Übersetzungshebeln ein so großes Kraftübersetzungsverhältnis zu realisieren, wie es besonders für Hochlastwaagen mit 30...150 kg Höchstlast notwendig ist. Für den Einbau eines dritten Übersetzungshebels ist in der Bauart gemäß der DE 195 40 782 A1 jedoch kein Platz vorhanden, insbesondere ist die gehäusefeste Lagerung eines dritten Übersetzungshebels problematisch.

[0004] Dieser Wägaufnehmer nach der DE 195 40 782 C1 weist durch seine monolithische Bauweise sehr gute Messeigenschaften und eine hervorragende Langzeitstabilität auf und eignet sich durch seine zwei Übersetzungshebel mit ihrem insgesamt hohen Übersetzungsverhältnis besonders für hohe Lasten oberhalb von 10 kg.

[0005] Nachteilig an diesem Wägaufnehmer ist einzig, dass seine Empfindlichkeit nur durch die externe Auflage von Kalibriergewichten überprüft und ggf. nachjustiert werden kann. Die Handhabung von externen Kalibriergewichten  $\geq 10$  kg ist jedoch umständlich.

[0006] Es ist daher bei aus einzelnen Teilen zusammengesetzten Wägaufnehmern bereits bekannt (z. B. aus dem US Patent 2,832,535 und dem US Patent 4,932,487) interne Kalibriergewichte zu benutzen, die

nicht am Lastaufnehmer direkt angreifen, sondern an einem der Übersetzungshebel. Dadurch kann das Kalibriergewicht deutlich kleiner als die Höchstlast der Waage bleiben und wirkt aufgrund des Übersetzungsverhältnisses dennoch wie ein Kalibriergewicht mit Höchstlast. Die Übertragung dieses Prinzips auf einen monolithischen Wägaufnehmer der eingangs genannten Art ist jedoch schwierig, da durch die monolithische Bauweise der Platz im Wägaufnehmer sehr beengt ist.

[0007] Bei einem teilmonolithischen Wägaufnehmer, bei dem bis auf den letzten Übersetzungshebel alle Übersetzungshebel, Koppellemente und die Lenker aus einem Block durch dünne Schnitte herausgearbeitet sind DE 196 05 087 C2 (US 5,866,854), ist es außerdem bekannt, einen durch zwei zusätzliche Lenker parallelgeführten Ankopplungsbereich für ein internes Kalibriergewicht vorzusehen und an diesem Ankopplungsbereich zwei Querstangen als Trägereinrichtung für das Kalibriergewicht anzubringen. Diese zusätzliche Lenkerparallelführung vergrößert jedoch die Bauhöhe des Wägaufnehmers und erhöht die Zahl der Federgelenke um vier weitere Gelenke, sodass die Federkonstante des Wägaufnehmers und damit die Gefahr von unkontrollierten Messwertänderungen steigt. Außerdem werden durch die Befestigung der Querstangen am monolithischen Teil Materialspannungen in dieses Teil eingebacht und dadurch die Vorteile der monolithischen Bauweise teilweise wieder zunichte gemacht.

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine kompakte Bauform für einen Wägaufnehmer der eingangs genannten Art weiterzubilden, bei der alle wesentlichen Kraftübertragungselemente komplett aus dem Materialblock herausgearbeitet werden können, ohne dass dadurch die Ausgangshöhe des Materialblocks und die Bauhöhe des fertigen Wägesystems gross gewählt werden muss. Die Bauform soll auch geeignet sein, auf einfache Weise Kalibriermittel an den Kraftübertragungselementen anzukoppeln, wenn dies gewünscht ist.

[0009] Erfindungsgemäß wird dies durch die kennzeichnenden Merkmale des Hauptanspruchs erreicht. Durch die symmetrische und kraftmässige Aufteilung bzw. Aufgabelung einzelner Kraftübertragungselemente ist es möglich, den vorkragenden Teil des Grundkörpers relativ weit in Richtung des Lastaufnehmers vorkragen zu lassen und seine vertikalen Stufungen und horizontalen Stufungen bzw. horizontalen Einbuchtungen als Wider- bzw. Aufnahmelager für mehrere Kraftübertragungselemente zu nutzen. Durch diese erfindungsgemässe räumliche Aufteilung und dreidimensionale Aufgliederung der Übertragungselemente wird eine Geometrie geschaffen, die eine kompakte und niedrige monolithische Bauweise sowie insbesondere die Herstellung in Frästechnik ermöglicht. Diese Gestaltung ermöglicht auch die optionale Ankopplung oder die zumindest teilweise Integration von Kalibriermitteln in den monolithischen Block mit all den Vorteilen hinsicht-

lich des physikalischen Verhaltens der komplexen Messeinheit.

[0010] Im einzelnen wird dies dadurch erreicht, dass mindestens ein Übersetzungshebel zumindest teilweise in zwei Teilhebel aufgeteilt ist, dass mindestens ein Koppelement in zwei Teilkoppelemente aufgeteilt ist und dass die Teilhebel und die Teilkoppelemente symmetrisch auf beiden Seiten des vorkragenden Teils des gehäusefesten Bereiches angeordnet sind und dass alle Übersetzungshebel, alle Teilhebel, alle Koppelemente und alle Teilkoppelemente monolithischer Bestandteil des Blocks sind.

[0011] Durch die Aufteilung in Teilhebel und Teilkoppelemente können diese auf beiden Seiten symmetrisch neben dem mittig angeordneten vorkragenden Teil des gehäusefesten Bereiches angeordnet sein und können so aus dem Block herausgearbeitet werden. Trotzdem bleibt ein hinreichend stabiler vorkragender Teil des gehäusefesten Bereiches erhalten. Durch die symmetrische Anordnung der Teilhebel und Teilkoppelemente bleibt die Symmetrie des Kraftflusses erhalten, sodass die Ecklastempfindlichkeit gering bleibt. Diese erfindungsgemäße räumliche Aufteilung ermöglicht auch, dass auch eines der Kraftübertragungselemente unmittelbar als Auflager für ein Kalibriergewicht dienen kann, wobei das Kalibriergewicht entweder innerhalb oder ausserhalb der Kontur des monolithischen Materialblocks angeordnet sein kann.

[0012] Erfindungsgemäß ist in einer ersten Ausführungsform ein Hebel für die unmittelbare Auflage eines Kalibriergewichtes monolithischer Bestandteil des Materialblocks und in einer zweiten Variante weist einer der Übersetzungshebel einen zusätzlichen Hebelarm für die Auflage eines Kalibriergewichtes auf und dieser zusätzliche Hebelarm ist ebenfalls monolithischer Bestandteil des Materialblocks.

[0013] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0014] Die Erfindung wird im folgenden anhand der Figuren beschrieben. Dabei zeigt:

Figur 1 schematisch die Anordnung der Hebel und Koppelemente und die Lagerung der Hebel am gehäusefesten Grundkörper zur Verdeutlichung der Funktion,

Figur 2 eine perspektivische Ansicht des monolithischen Wägeaufnehmers, wobei einige Teile weggebrochen sind, in einer ersten Ausgestaltung,

Figur 3 eine Seitenansicht des Wägeaufnehmers aus Figur 3,

Figur 4 eine Seitenansicht des Wägeaufnehmers in einer zweiten Ausgestaltung,

Figur 5 einen Wägeaufnehmer mit Kalibriergewicht in Seitenansicht in einer ersten Ausgestaltung,

Figur 6 einen Wägeaufnehmer mit Kalibriergewicht in Seitenansicht in einer zweiten Ausgestaltung,

Figur 7 einen vertikalen Schnitt durch einen Teil des Wägeaufnehmers nach der Schnittrlinie 7-7 in Figur

5,

Figur 8 einen Wägeaufnehmer mit Kalibriergewicht in Seitenansicht in einer dritten Ausgestaltung, Figur 9 eine Vorderansicht des Lastaufnehmers aus Figur 8,

Figur 10 einen Wägeaufnehmer mit Kalibriergewicht in Seitenansicht in einer vierten Ausgestaltung,

Figur 11 eine Vorderansicht des Lastaufnehmers aus Figur 10 und

Figur 12 ist eine perspektivische Ansicht einer weiteren Ausführungsform mit angeschraubtem Kalibrieraufnahmelager.

[0015] Die stark schematisierte Figur 1 dient nur der Erläuterung der Anordnung und Funktion des Hebelsystems, der Lagerung der einzelnen Hebel und der Anordnung der Koppelemente.

Die beweglichen Hebel und Koppelemente sind nur als dicke Striche gezeichnet. Die Gelenkstellen, die durch Materialdünnstellen gebildet werden, sind durch Kreise angedeutet.

[0016] Der homogene Materialblock aus Metall, Keramik oder Kunststoff für den Wägegeber hat etwa die in Figur 1 zwischen den Bezugszeichen 1 und 10 angedeutete quaderförmige Umrissform.

[0017] Man erkennt einen gehäusefesten Grundkörper 1, der einen vorkragenden Bereich (Teil) 2 und 3 aufweist. Der Bereich 2 hat die volle Breite des Grundkörpers 1, während der Bereich 3 schmaler ist (ca. 40 % vom Grundkörper 1). Im Grundkörper 1 befindet sich ein rundes Loch 8, das einen (nicht gezeichneten) zylindrischen Permanentmagneten aufnimmt, der von unten in das Loch 8 einsetzbar und an integrierten Befestigungslaschen festlegbar ist. Der Grundkörper 1 weist weiterhin ein waagrecht verlaufendes, durchgehendes Durchgangsloch 9 mit rechteckigem Querschnitt auf.

[0018] Ganz links in Figur 1 ist der Lastaufnehmer 10 eingezeichnet, der durch einen oberen Lenker 12 und einen unteren Lenker 11 mit dem Grundkörper 1 verbunden ist. Die Gelenkstelle zwischen dem oberen Lenker 12 und dem Lastaufnehmer 10 ist mit 15 bezeichnet und sie zieht sich über die ganze Breite des Lenken 12 bzw. Lastaufnehmers 10 hin, die Gelenkstelle zwischen dem unteren Lenker 11 und dem Lastaufnehmer 10 ist mit 14 bezeichnet, sie zieht sich ebenfalls über die ganze Breite des Lenken 11 bzw. Lastaufnehmers 10 hin. Die Gelenkstellen zwischen den Lenkern 11 und 12 und dem Grundkörper 1 sind mit 16 bzw. 17 bezeichnet; sie ziehen sich ebenfalls über die ganze Breite hin. Der obere Lenker 12 weist eine mittige Ausnehmung (Durchbrechung) 35 auf, in die der vorkragende Teil 3 hineinragt. Die obere Abschlussfläche als Stufung 37 des vorkragenden Teils 3 befindet sich auf der gleichen Höhe wie die Oberseite des Lenken 12. Aus Symmetriegründen weist auch der untere Lenker 11 eine mittige Ausnehmung (Durchbrechung) 36 auf. Der obere Lenker 12 und der obere Teil des

Lastaufnehmers 10 sind in Figur 1 strichpunktiert gezeichnet, wodurch eine Durchsichtigkeit dieser Bereiche zeichnerisch angedeutet werden soll; die vom oberen Lenker 12 und vom oberen Teil des Lastaufnehmers 10 eigentlich verdeckten Teile sind daher nicht gestrichelt, sondern mit durchgehenden Linien gezeichnet. - Durch die Lenker 11 und 12 mit ihren Gelenkstellen 14-17 ist der Lastaufnehmer 10 mit dem Grundkörper 1 verbunden, kann sich aber in vertikaler Richtung etwas (weniger als 1 mm) bewegen.

[0019] Die von der zu messenden Last auf dem Lastaufnehmer 10 ausgeübte Kraft wird von einem Vorsprung 13 am Lastaufnehmer 10 (der in Figur 1 linke, vertikale Teil des Vorsprungs 13 ist identisch mit der rechten Seitenfläche des Lastaufnehmers 10) über zwei Koppelemente 18 und 18' mit den Gelenkstellen 19 und 20 bzw. 19' und 20' übertragen auf einen ersten Übersetzungshebel 21/22 (kurzer Hebelarm 21, langer Hebelarm 22), der über zwei Lagerstellen 4 und 4' am vorkragenden Bereich 3 gelagert ist. Aus der vertikalen Kraft F wird dadurch die kleinere horizontale Kraft F'. Diese Kraft F' wird über eine Gelenkstelle 43 auf ein Koppelement 23 übertragen, dort in zwei Teilkräfte F/2 aufgespalten und über die beiden Gelenkstellen 38 und 38' auf den kurzen Hebelarm 24 des zweiten Übersetzungshebels übertragen. Dieser zweite Hebel ist durch die Lagerstellen 5 und 5' am vorkragenden Bereich 2 gelagert. Der lange Hebelarm 25/25' des zweiten Hebels ist in zwei Teilhebel 25 und 25' aufgespalten. Der Teilhebel 25 verläuft vor dem vorkragenden Bereich 3, der andere Teilhebel 25' hinter dem vorkragenden Bereich 3. Durch den Übersetzungshebel 24/25/25' wird die horizontale Kraft F' in die kleinere, ebenfalls horizontale Kraft F'' umgewandelt, wobei jeweils die Hälfte (F''/2) am Ende des vorderen Teilhebels 25 und des hinteren Teilhebels 25' wirkt. Von dort werden die beiden Kräfte über Koppelgelenke 26 und 26' auf den dritten Übersetzungshebel 29/29'/27/27'/28 übertragen. Dabei ist 29/29' der kurze Hebelarm und 27/27'/28 der lange Hebelarm. Dieser dritte Hebel ist über zwei Abstützelemente 30 und 30' an den Punkten 31 und 31' am Grundkörper 1 gelagert.

[0020] Die Gelenkstelle zwischen Abstützelement 30 und dem Grundkörper 1 ist mit 33 und die Gelenkstelle zwischen Abstützelement 30 und dem kürzeren Hebelarm 29 des dritten Hebels mit 32 bezeichnet. Entsprechend ist die Gelenkstelle zwischen Abstützelement 30' und dem Grundkörper 1 mit 33' und die Gelenkstelle zwischen Abstützelement 30' und dem kürzeren Hebelarm 29' des dritten Hebels mit 32' bezeichnet. Der nicht mehr aufgespaltene Teil 28 des längeren Hebelarms 27/27'/28 verläuft im Durchgangsloch (Loch) 9 des Grundkörpers 1 und trägt in seinem hinteren Bereich die Spule 34, die sich im Magnetfeld des Permanentmagneten befindet. Diese Spule 34 erzeugt eine vertikale Kraft F'', die letztendlich proportional zur Kraft F am Lastaufnehmer 10 ist.

[0021] Die vorstehend benannten Elemente sind im

allgemeinen Sinne Kraftübertragungselemente, auch wenn einzelne Elemente wie z. B. die Elemente 11,12 und 30,30' im Wesentliche vertikale Führungselemente oder Abstützelemente sind, jedoch die eigentlichen Elemente zur Kraftübertragung gegen schädliche Seitenkräfte schützen.

[0022] Die einzelnen Teile des Kraftübertragungssystems sind entweder mittig in der vertikalen Symmetrieebene des gesamten Materialblockes angeordnet (z. B. der erste Hebel 21/22 oder der nicht aufgespaltene lange Hebelarm 28 des dritten Hebels) oder aber aufgeteilt und symmetrisch zur vertikalen Symmetrieebene auf beiden Seiten des vorkragenden Teils 3 angeordnet (z. B. der lange Hebelarm 25 und 25' des zweiten Hebels oder die Hebelarme 29 und 27 bzw. 29' und 27' des dritten Hebels). Die aufgeteilten Bereiche übertragen dabei jeweils die Hälfte der vom jeweiligen Hebel, Koppelement etc. übertragenen Kraft. Der Halter der runden Spule 34 ist ebenfalls monolithischer Bestandteil des Hebelarms 28 und ist vorzugsweise dem Umriss der Spule 34 angepasst. Alle beschriebenen Teile mit Ausnahme der Spule 34 und des nicht gezeichneten Permanentmagneten sind dabei aus einem einzigen Materialblock herausgearbeitet.

[0023] Vom Geometrieprinzip sind demnach die aneinandergeschlossenen einzelnen Kraftübertragungselemente 10,11,12,13 bis 34,38,38',43 entweder symmetrisch zu einer durch den nicht aufgespaltenen langen Hebelarm 28 (auch Spulenträger) und den Lastaufnehmer 10 verlaufenden vertikalen Mittellängsebene in dieser oder geometrisch und kraftmäßig aufgeteilt und symmetrisch beabstandet von dieser Mittellängsebene angeordnet und sind (mit Ausnahme der Spule 34) Bestandteil des homogenen Materialblockes, wobei sich der vorkragende Teil 2,3 des Grundkörpers 1 teilweise zwischen geometrisch und kraftmäßig aufgeteilten Kraftübertragungselementen 11,12; 25,25'; 27,27'; 29,29'; 30,30' erstreckt und für einen Teil der Kraftübertragungselemente 22; 24 Widerlager bzw. Lagerstellen 4,4'; 5,5' bildet. Die Anordnung von vertikalen und horizontalen Stufungen (z.B. bei 37,39; 2'',3'') in den vorkragenden Teilen 2,3 schafft weitere Freiräume für den Zugang von Bearbeitungswerkzeugen für das Herausarbeiten der Einzelemente aus dem Materialblock. Weitere Stufungen auf der Unter- und Oberseite der vorkragenden Teile 2,3 sind in Fig. 1 erkennbar, jedoch nicht mit Bezugszeichen belegt.

[0024] In Figur 2 ist ein nach dem vorstehenden Bauprinzip realisierter Wägaufnehmer in einer ersten Ausgestaltung perspektivisch dargestellt. In Figur 3 ist derselbe Wägaufnehmer in Seitenansicht gezeigt. Alle Hebel, Gelenke und Koppelemente sind mit denselben Bezugszeichen wie in Figur 1 bezeichnet, auch wenn sie in Figur 1 zeichnerisch anders dargestellt sind als in Figur 2 und 3.

[0025] Man erkennt rechts in Figur 2 und 3 den gehäusefesten Grundkörper 1, der auf seiner Unterseite flache Fußbereiche 6 aufweist, an denen dieser

am Gehäuse der Waage festgeschraubt werden kann. Anstelle der integrierten Fußbereiche 6 können diese Bestandteil eines Gehäuses, einer Montageplatte oder eines Chassis sein. Der Grundkörper 1 setzt sich nach links in den vorkragenden Teil 2 und den vorkragenden Teil 3 fort (vertikale Stufung). Da sich die obere Abschlussfläche 37 des vorkragenden Teils 3 auf derselben Höhe wie die Oberseite des oberen Lenkers 12 befindet, ist diese obere Abschlussfläche 37 in der Seitenansicht von Figur 3 nicht erkennbar. Nur die vertikale Rückseite bzw. Stufung 39 des vorkragenden Teils 3 ist in Figur 3 teilweise erkennbar.

[0026] Der obere Lenker 12 ist in Figur 2 z. T. weggebrochen, um die inneren Bereiche des Wägaufnehmers sichtbar zu machen. Genauso ist ein Teil des Lastaufnehmers 10 weggebrochen. Der untere Lenker 11 ist demgegenüber ganz dargestellt. Man erkennt die sich über die gesamte Breite des Lenkers erstreckenden Materialdünnstellen, die die in Figur 1 dargestellten Gelenkstellen 14, 15, 16 und 17 bilden und nachfolgend auch als Dünnstellen bezeichnet werden.

[0027] Die zu messende Kraft wird vom Lastaufnehmer 10 über den stabilen Vorsprung 13 und über zwei Koppellemente 18 und 18' auf den kurzen Hebelarm 21 des ersten Hebels übertragen. Die Gelenkstellen 19, 19', 20 und 20' sind als Dünnstellen an den Enden der Koppellemente 18 und 18' gut erkennbar. Weiter erkennt man eine dreieckförmige Verstärkung 42 zwischen dem kurzen Hebelarm 21 und dem langen Hebelarm 22 des ersten Hebels. Der erste Hebel 21/22 ist über die Lagerstellen 4 und 4' am vorkragenden Teil 3 gelagert.

[0028] Vom Ende des langen Hebelarms 22 wird die unteretzte Kraft über eine Gelenkstelle 43 auf das Koppellement 23 übertragen und von dort über die beiden Gelenkstellen 38 und 38' auf den kurzen Hebelarm 24 des zweiten Hebels. Der zweite Übersetzungshebel 24/25/25' ist über Lagerstellen 5 und 5' am vorkragenden Teil 2 gelagert. Die Lagerstelle 5' ist in Figur 2 gestrichelt dargestellt, da sie hinter dem zweiten Übersetzungshebel 24/25/25' verborgen ist. In Figur 3 ist die Gelenkstelle 5' hinter der Gelenkstelle 5 verborgen. Der obere Teil des langen Hebelarms 25/25' ist gabelförmig aufgespalten: Der eine Teil des langen Hebelarms 25 befindet sich auf der einen Seite des vorkragenden Teils 3 - in Figur 3 vor dem vorkragenden Teil 3 -, der andere Teil des langen Hebelarms 25' befindet sich auf der anderen Seite des vorkragenden Teils 3 - in Figur 3 hinter dem vorkragenden Teil 3.

[0029] Dementsprechend werden die beiden Kräfte von den langen Hebelarmen 25 und 25' des zweiten Hebels über zwei Teilkoppelgelenke 26 und 26' auf die beiden Teile 29 und 29' des aufgespaltenen kurzen Hebelarms des dritten Übersetzungshebels 29/29'/27/27'/28 übertragen. Der dritte Hebel ist über Abstützelemente 30 und 30' mit den Gelenkstellen 32 und 33 bzw. 32' und 33' am Grundkörper 1 gelagert. Der lange Hebelarm 27,27' des dritten Hebels ist in seinem

Anfangsbereich aufgespalten und wird am Ende wieder in einem Teil 28 zusammengeführt. An diesem gemeinsamen nicht aufgespaltenen Teil 28 des lange Hebelarmes ist die Spule 34 befestigt. Die beiden gabelförmigen Schenkel bzw. die aufgespaltenen Teile 27 und 27' des langen Hebelarmes des dritten Hebels umgreifen den vorkragenden Teil 3 symmetrisch. Die Abstützelemente 30 und 30' für den dritten Hebel befinden sich wiederum seitlich außerhalb der beiden Schenkel 27 und 27'.

[0030] Die Breitenverhältnisse können beispielsweise folgendermaßen sein: Der vorkragende Teil 3 hat etwa 40 % der Breite des Grundkörpers 1, die Hebelarme 27 und 27' haben je eine Breite von knapp 10 % der Breite des Grundkörpers 1, die daneben befindlichen Abstützelemente 30 und 30' haben je eine Breite von ebenfalls knapp 10 % der Breite des Grundkörpers 1. Aufgrund der Beabstandung zwischen Hebelarm 27 und Abstützelement 30 haben dann die Teilkoppelgelenk bzw. die Dünnstelle 26 und der kurze Hebelarm 29 eine Breite von gut 20 % der Breite des Grundkörpers 1. Dasselbe gilt für das Teilkoppelgelenk bzw. die Dünnstelle 26' und den kurzen Hebelarm 29'. Einschließlich der Beabstandung zwischen dem Hebelarm 27 und dem vorkragenden Teil 3 ergibt sich dadurch ein gesamter Platzbedarf in der Breite von etwa 85 % der Breite des Grundkörpers 1. Neben den Abstützpunkten 31 und 31' der Abstützelemente 30 und 30' bleibt also jeweils noch etwa 7,5 % der Breite des Grundkörpers 1 an Platz. Auch der vorkragende Teil 2 weist dieselbe Breite von etwa 85 % der Breite (horizontale Stufung 2',3') des Grundkörpers 1 auf (In Figur 1 ist zur Vereinfachung der vorkragende Teil 2 genauso breit wie der Grundkörper 1 gezeichnet und das Abstützelement 30 und der Abstützpunkt 31 ganz an den Rand verschoben.)

[0031] Im Grundkörper 1 befindet sich weiterhin ein durchgehendes vertikales Loch 8, in das der (nicht dargestellte) Permanentmagnet von unten her eingeschoben werden kann. Dabei dienen vier Befestigungsglaschen 7 als Anschlag und zum Festschrauben des Permanentmagneten. Auf der Oberseite des langen Hebelarms 28 des dritten Hebels ist in Figur 2 zusätzlich der Schlitz eines optischen Lagensensors 41 angedeutet, der in bekannter Weise über einen Regelverstärker den Strom durch die Spule 34 steuert.

[0032] Das Loch 8 berührt den Rand des gehäusefesten Bereiches 1 an keiner der Seitenflächen, vielmehr bleibt überall eine Wand von mindestens 5 mm Wandstärke stehen. Dies verleiht dem gehäusefesten Bereich 1 eine große Stabilität, sodass die Verformung auch unter großen Kräften im Lenker (bei ausmittiger Lage des Wägegutes auf der Waagschale) minimal bleibt. Auch das horizontale Durchgangsloch 9 durch den gehäusefesten Grundkörper 1 ist so klein wie fertigungstechnisch möglich ausgeführt; insbesondere bleibt oberhalb des Durchgangsloches 9 noch mindestens 5 mm Material stehen. Verglichen mit einem nach

oben offenen Graben zum Freifräsen des Hebelarms 28 wird dadurch die Stabilität des gehäusefesten Grundkörpers 1 wesentlich erhöht.

Weiter ist am Lastaufnehmer 10 auf der Oberseite und der Unterseite je eine Stufe (Ausbruchsfläche) 40 5  
erkennbar. Die Höhe dieser Stufe 40 ist so bemessen, dass sich die waagerechte Fläche der Stufe 40 genau in der Höhe der neutralen Faser der Dünnstellen 15 und 17 des oberen Lenkers 12 bzw. in der Höhe der neutralen Faser der Dünnstellen 14 und 16 des unteren Lenkers 11 befindet. An diesen waagerechten Flächen wird die Waagschale bzw. die Unterschale mittels eines C-förmigen Zwischenteils am Lastaufnehmer 10 befestigt. Durch diese Ausgestaltung der Waagschalen/Unterschalen-Befestigung wird das bei außermittiger Belastung der Waagschale auftretende Drehmoment als waagerechtes Kräftepaar direkt in die Lenker 11 und 12 10  
eingeleitet und verursacht keine Torsion des Lastaufnehmers 10.

[0033] Die Stufen 40 am Lastaufnehmer 10 sind in 20  
Figur 2 und 3 über die ganze Breite des Lastaufnehmers 10 gezeichnet. Selbstverständlich ist es auch möglich, diese Stufen nur an den Stellen vorzusehen, an denen die Waagschale/Unterschale wirklich befestigt ist, um den Lastaufnehmer 10 möglichst wenig zu schwächen.

[0034] In Figur 4 ist eine zweite Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Wägaufnehmers in Seitenansicht dargestellt. Bis auf den Lastaufnehmer sind alle Teile dieser zweiten Ausgestaltung mit der schon beschriebenen ersten Ausgestaltung identisch. Die identischen Teile sind mit den gleichen Bezugszahlen bezeichnet und werden nicht nochmals erläutert. Der Lastaufnehmer der zweiten Ausgestaltung besteht aus einem rechten Teil 50, an dem die Lenker 11 und 12 angreifen und 25  
einem linken Teil 51, an dem über die beiden Gewindebohrungen 54 die Schale bzw. die Unterschale befestigt ist. Rechter Teil 50 und linker Teil 51 sind durch einen vertikalen Schlitz (Ausnehmung) 53, der an seinem oberen und unteren Ende je einen Verbindungssteg (Materialsteg) 52 stehen lässt, voneinander getrennt. Die Verbindungsstege 52 befinden sich dabei genau auf der Höhe der Dünnstelle 15 bzw. der Dünnstelle 14. Sie sind außerdem so stabil, dass sie neben den horizontalen Kräften bei ausmittiger Lage des Wägegutes auch die vertikale Gewichtskraft des Wägegutes übertragen, 30  
ohne sich nennenswert zu verbiegen. Durch diese Bauart werden die waagerechten Kräfte bei ausmittiger Lage des Wägegutes auf der Waagschale wieder genau in der Höhe des Lenkers 12 in den rechten Teil 50 des Lastaufnehmers eingeleitet und so die Gefahr einer Verbiegung des rechten Teils 50 des Lastaufnehmers und dadurch eine Änderung des vertikalen Abstandes der Gelenkstellen 14 und 15 der beiden Lenker 11, 12 minimiert.

[0035] Auch diese Ausgestaltung wird bis auf die Spule 34 und den Permanentmagneten aus einem einzigen Materialblock herausgearbeitet.

[0036] Die nachfolgenden Ausführungsformen gemäß Fig. 5 bis 11 mit Kalibriegewichtsaufnahme sind im Prinzip wie die Ausführungsformen nach Fig. 1 bis 4 aufgebaut, sodass bezüglich der Elemente in den rückwärtigen Ebenen auf diese Figuren verwiesen wird. Man erkennt in der Seitenansicht in Figur 5 einen gehäusefesten Grundkörper 1, der auf seiner Unterseite flache Fußbereiche 6 aufweist, an denen er am Gehäuse der Waage festgeschraubt werden kann. Der Grundkörper 1 setzt sich nach links in einen vorkragenden Bereich 2 und einen vorkragenden Bereich 3 fort. Der Bereich 2 hat eine Breite von ca. zwei Drittel der Breite des Grundkörpers 1, der Bereich 3 ist noch schmaler (ca. 40 % vom Grundkörper 1). Im Grundkörper 1 befindet sich ein rundes Loch 8, das einen (nicht gezeichneten) zylindrischen Permanentmagneten aufnimmt.

[0037] Ganz links in Figur 5 ist der Lastaufnehmer 10 eingezeichnet, der durch einen oberen Lenker 12 und einen unteren Lenker 11 mit dem Grundkörper 1 verbunden ist. Die Gelenkstelle zwischen dem oberen Lenker 12 und dem Lastaufnehmer 10 ist mit 15 bezeichnet und sie zieht sich über die ganze Breite des Lenkers bzw. Lastaufnehmers hin, die Gelenkstelle zwischen dem unteren Lenker 11 und dem Lastaufnehmer 10 ist mit 14 bezeichnet, sie zieht sich ebenfalls über die ganze Breite des Lenkers bzw. Lastaufnehmers hin. Die Gelenkstellen zwischen den Lenkern 11 und 12 und dem Grundkörper 1 sind mit 16 bzw. 17 bezeichnet, sie ziehen sich ebenfalls über die ganze Breite hin. Der obere Lenker 12 weist eine mittige Ausnehmung auf, in die der vorkragende Teil 3 hineinragt. (Die obere Abschlussfläche des vorkragenden Teils 3 befindet sich auf der gleichen Höhe wie die Oberseite des Lenkers 12 und ist in der Seitenansicht daher nicht erkennbar. Nur die vertikale Rückseite bzw. Stufung 39 des vorkragenden Teils 3 ist in Figur 5 teilweise erkennbar.) - Durch die Lenker 11 und 12 mit ihren Gelenkstellen ist der Lastaufnehmer 10 mit dem Grundkörper verbunden, kann sich aber in vertikaler Richtung etwas bewegen.

[0038] Die zu messende Kraft wird vom Lastaufnehmer 10 über den stabilen Vorsprung 13 und über Koppelemente 18 mit den Gelenkstellen 19 und 20 auf den kurzen Hebelarm 21 des ersten Hebels übertragen. Der lange Hebelarm des ersten Hebels ist mit 22 bezeichnet. Weiter erkennt man eine dreieckförmige Verstärkung 42 zwischen dem kurzen Hebelarm 21 und dem langen Hebelarm 22 des ersten Hebels. Der erste Hebel 21/22 ist über Lagerstellen 4 am vorkragenden Teil 3 gelagert.

[0039] Vom Ende des langen Hebelarms 22 wird die unteretzte Kraft über eine Gelenkstelle 43 auf das Koppelement 23 übertragen und von dort über Gelenkstellen 38 auf den kurzen Hebelarm 24 des zweiten Hebels. Der zweite Hebel 24/25 ist über Lagerstellen 5 am vorkragenden Teil 2 gelagert. Der obere Teil des langen Hebelarms 25, 25' ist gabelförmig aufgespalten: Der eine Teil befindet sich auf der einen Seite

des vorkragenden Teils 3 - in Figur 5 vor dem vorkragenden Teil 3 -, der andere Teil befindet sich auf der anderen Seite des vorkragenden Teils 3 - in Figur 5 hinter dem vorkragenden Teil 3 und damit nicht erkennbar.

[0040] Von dort werden die beiden Kräfte von den langen Hebelarmen 25, 25' des zweiten Hebels über zwei Teilkoppelgelenke 26, 26' auf die beiden Teile des aufgespaltenen kurzen Hebelarms 29, 29' des dritten Hebels 29, 29'/27, 27'/28 übertragen. Der dritte Hebel ist über Abstützelemente 30, 30' mit den Gelenkstellen 32, 32' und 33, 33' am Grundkörper 1 gelagert. Der lange Hebelarm 27, 27' des dritten Hebels ist in seinem Anfangsbereich aufgespalten und wird am Ende wieder in einem Teil zusammengeführt. An diesem gemeinsamen nicht aufgespaltenen Teil 28 des langen Hebelarmes 27, 27' ist die Spule 34 befestigt. Die gabelförmigen Schenkel des langen Hebelarmes 27, 27' des dritten Hebels umgreifen den vorkragenden Teil 3 symmetrisch. Die Abstützelemente 30, 30' für den dritten Hebel befinden sich wiederum seitlich außerhalb der beiden Schenkel des langen Hebelarmes 27, 27'.

[0041] Weiter ist am Lastaufnehmer 10 auf der Oberseite und der Unterseite je eine Stufe 40 erkennbar. Die Höhe dieser Stufe ist so bemessen, dass sich die waagerechte Fläche der Stufe 40 genau in der Höhe der neutralen Faser der Dünnstellen 15 und 17 des oberen Lenkers 12 bzw. in der Höhe der neutralen Faser der Dünnstellen 14 und 16 des unteren Lenkers 11 befindet. An diesen waagerechten Flächen wird die Waagschale bzw. die Unterschale mittels eines C-förmigen Zwischenteils am Wägaufnehmer befestigt. Durch diese Ausgestaltung der Waagschalen/Unterschalen-Befestigung wird das bei außermittiger Belastung der Waagschale auftretende Drehmoment als waagerechtes Kräftepaar direkt in die Lenker 11 und 12 eingeleitet und verursacht keine Torsion des Lastaufnehmers 10.

[0042] Zur Durchführung einer Kalibrierung/Justierung ist der erfindungsgemäße Wägaufnehmer nach Figur 5 und 11 mit einem Paar zusätzlicher Hebel 44, 44' (siehe auch Figur 7) ausgestattet, jeder ist an einem seitlichen Vorsprung 45 am vorkragenden Bereich 3 gelagert. Der zusätzliche Hebel 44, 44' drückt über ein Paar Koppellemente 46 auf den mittleren Teil des langen Hebelarms 25, 25' des zweiten Übersetzungshebels 24, 24'/25, 25'. Am Ende des zusätzlichen Hebels 44, 44' weist dieser eine Vertiefung 47 auf, in die beim Kalibrieren oder Justieren ein Kalibriergewicht 49 abgelegt werden kann. Die für das Anheben bzw. Absenken des Kalibriergewichtes 49 notwendige Vorrichtung befindet sich außerhalb des monolithischen Materialblockes und ist der Übersichtlichkeit halber in Figur 5 nicht eingezeichnet. Verschiedene Bauformen dieser Hubvorrichtung sind bekannt und müssen daher hier nicht im Einzelnen erläutert werden. Schematisch ist eine Hubvorrichtung in Figur 7 bei 73, 73' angedeutet.

[0043] Das Kalibriergewicht 49 ist zylinderförmig und erstreckt sich durch einen Durchbruch 48 im vorkragenden Bereich 3 hindurch auch auf die andere, in

Figur 5 hinter der Zeichenebene gelegene Seite des vorkragenden Bereiches 3. Hinter der Zeichenebene befindet sich ein gleicher zusätzlicher Hebel 44 mitsamt seiner Lagerung und einem Koppellement 46. Das Kalibriergewicht 49 liegt daher in der in Figur 5 und 7 gezeichneten Kalibrierstellung auf den beiden zusätzlichen Hebeln 44, 44' auf. Seine Gewichtskraft wird über die beiden Koppellemente 46 als waagerechte Kraft in die beiden langen Hebelarme 25, 25' des zweiten Übersetzungshebels 24, 24'/25, 25' eingeleitet, wo die Kraft vom Lastaufnehmer schon deutlich reduziert ist. Dadurch und durch die zusätzliche Hebelwirkung des zusätzlichen Hebels 44, 44' reicht ein Kalibriergewicht 49 von z. B. 300 g, um eine Belastung von 50 kg am Lastaufnehmer zu simulieren. Das Kalibriergewicht 49 ist daher auch bei hohen Nennlasten des Wägaufnehmers so klein und so leicht, dass die Baugröße und das Gewicht des Wägaufnehmers durch das Kalibriergewicht 49 nicht wesentlich vergrößert werden.

[0044] Die zusätzlichen Hebel 44, 44' deren Lagerung und die Koppellemente 46 sind monolithischer Bestandteil des Metallblockes, aus dem auch der übrige Teil des Wägaufnehmers herausgearbeitet ist. Damit ergeben sich auch für die Kalibriergewichtsaufgabe die Vorteile der monolithischen Bauweise, wie z. B. große Langzeitkonstanz und geringer Temperatureinfluss.

[0045] In der normalen Wägestellung (zum Wiegen einer am Lastaufnehmer 10 angreifenden Last) ist das Kalibriergewicht 49 durch eine nicht dargestellte, gehäusefest angeordnete Hubvorrichtung angehoben und wird gegen die Oberseite des Durchbruches 48 im vorkragenden Bereich 3 als Anschlag gedrückt (gleichzeitig Transportsicherung). Eine Wirkverbindung zu den zusätzlichen Hebeln 44, 44' besteht dann nicht mehr.

[0046] Eine zweite Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Wägaufnehmers mit Kalibriergewicht ist in Figur 6 gezeigt. Gleiche Teile wie in der ersten Ausgestaltung gemäß Figur 5 sind mit den gleichen Bezugszahlen bezeichnet und werden nicht noch einmal erläutert. In dieser zweiten Ausgestaltung ist neben dem zusätzlichen Hebel 55, der an einem seitlichen Vorsprung 56 am vorkragenden Bereich 2 gelagert ist, ein Kniehebelsystem 57/58 vorhanden, das die an der Dünnstelle 65 wirkende vertikale Kraft vergrößert und als horizontale Kraft an der Dünnstelle 66 in den langen Hebelarm 25 des zweiten Übersetzungshebels 24/25 einleitet. Das Kniehebelsystem 57/58 ist dabei über die Dünnstelle 67 an einem Vorsprung 69 des Grundkörpers 1 gelagert und stützt sich dort ab. Das Kalibriergewicht 49 erstreckt sich wie in der ersten Ausgestaltung durch einen Durchbruch 59 im vorkragenden Bereich 2 hindurch bis hinter die Zeichenebene. Hinter der Zeichenebene auf der Rückseite des vorkragenden Bereiches 2 ist ebenfalls ein zusätzlicher Hebel 55 und ein Kniehebelsystem 57/58 vorhanden, sodass die Gewichtskraft des Kalibriergewichtes 49 wieder in zwei Teilkräften in die beiden Hebelarme 25 des zweiten Übersetzungshebels 24/25 eingeleitet wird. Die Hubvor-

richtung für das Anheben bzw. Absenken des Kalibriergewichtes 49 ist der Übersichtlichkeit halber wieder nicht eingezeichnet. Die Funktionsweise dieser zweiten Ausgestaltung ist genauso wie bei der ersten Ausgestaltung. Durch die zusätzliche Kniehebelanordnung kann das Kalibriergewicht 49 bei gleicher Höchstlast der Waage noch kleiner und leichter ausgebildet sein.

[0047] In beiden Ausgestaltungen kann das zylindrische Kalibriergewicht 49 vorteilhafterweise in seiner Längsachse länger sein als die Breite des monolithischen Blockes, damit die Hubvorrichtung (73/73' in Figur 7) für das Kalibriergewicht auf beiden Seiten seitlich am feststehenden Teil also am Grundkörper 1 des monolithischen Blockes angebracht sein kann und die Hubvorrichtung das Kalibriergewicht an den überstehenden Enden 79, 79' anheben kann. Damit kann die Wägezelle einschliesslich der Kalibriervorrichtung und vorzugsweise mit einer Elektronik auf einer Montageplatte oder einem Chassis montiert als messtechnisch abgeglichenes Modul in Waagenghären oder Wägeanlagen eingesetzt werden.

[0048] In den Figuren 8 und 9 ist eine dritte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Wägeaufnehmers mit Kalibriergewicht gezeigt. Figur 8 ist eine Seitenansicht, Figur 9 eine Vorderansicht auf den Lastaufnehmer 10. Gleiche Teile wie in den ersten Ausgestaltungen sind wieder mit den gleichen Bezugszahlen bezeichnet und werden nicht noch einmal erläutert. Der Wägeaufnehmer in Figur 8 und 9 weist am zweiten Übersetzungshebel 24/25, 25' eine kurze vertikale Verlängerung 61 auf, die in einen horizontalen Hebelarm 62 übergeht. Dieser horizontale Hebelarm 62 durchsetzt den Lastaufnehmer 10, der dazu in seiner Symmetrieebene eine rechteckige Ausnehmung 64 aufweist. Diese Ausnehmung 64 ist in der Vorderansicht auf den Lastaufnehmer 10 in Figur 9 erkennbar. Der horizontale Hebel 62 weist an seinem (in Figur 8 linken) Ende eine Vertiefung 68 als Aufnahmelager auf, in die beim Kalibrieren oder Justieren ein Kalibriergewicht 60 abgelegt werden kann. In Figur 8 ist das Kalibriergewicht 60 in dieser Kalibriervorrichtung gezeichnet. Die für das Anheben bzw. Absenken des Kalibriergewichtes notwendige Vorrichtung ist in Figur 8 nur durch eine Aufnahme 70 angedeutet, die vertikal beweglich ist. - In dieser Ausgestaltung ist also der bereits vorhandene Übersetzungshebel 24/25, 25' durch den zusätzlichen Hebelarm 61/62 verlängert und so eine Auftragemöglichkeit für das Kalibriergewicht 60 geschaffen. Der zusätzliche Hebelarm 61/62 ist aus dem Materialblock des Wägeaufnehmers mit herausgearbeitet und dadurch monolithischer Bestandteil des Wägeaufnehmers.

[0049] Eine vierte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Wägeaufnehmers mit Kalibriergewicht ist in den Figuren 10 und 11 gezeigt. Figur 10 ist eine Seitenansicht, Figur 11 eine Vorderansicht auf den Lastaufnehmer 10. Gleiche Teile wie in der dritten Ausgestaltung gemäß den Figuren 8 und 9 sind mit den gleichen Bezugszahlen bezeichnet und werden nicht

noch einmal erläutert. In dieser vierten Ausgestaltung ist der Hebelarm 62 für das Kalibriergewicht 60 in seinem mittleren Teil 62'/62" gabelförmig aufgespalten. Der eine Teil 62' befindet sich in einer Nut 63 im Lastaufnehmer 10, die in Figur 10 auf der Vorderseite des Lastaufnehmers 10 eingebracht ist (in Figur 11 auf der rechten Seite); der andere Teil 62" befindet sich in Figur 10 auf der Rückseite des Lastaufnehmers 10 und ist deshalb nur in Figur 11 erkennbar und befindet sich in einer Nut 63' auf der linken Seite des Lastaufnehmers 10. Im Bereich links vom Lastaufnehmer 10 in Figur 10 sind die beiden Teile 62'/62" vorzugsweise zu einer Gabel mit Verbindungssteg als Hebelarm 62 wieder zusammengeführt und dieser trägt dort das Kalibriergewicht 60 in seiner Aufnahme 68. Bei den in Figur 8 und 10 gezeigten Ausführungsformen kann das Ende des horizontalen Hebelarmes 62 und 62' mit dem Aufnahmelager 68 für das Kalibriergewicht 60 auch ganz oder zumindest teilweise in die Kontur des Lastaufnehmers 10 in einer zur Aufnahme 70 offenen Ausnehmung einbezogen sein.

[0050] Allen bisher beschriebenen Ausführungsformen mit Kalibriergewicht ist gemeinsam, dass jeweils ein einziges Kalibriergewicht direkt und unmittelbar mit dem dafür vorgesehenen Übersetzungshebel für den Kalibriervorgang in Wirkverbindung gebracht werden kann. Diese Ausführungsformen eignen sich besonders für hoch auflösende Waagen. In mehreren bevorzugten Ausführungsformen ist das Kalibriergewicht 49 im Bereich zwischen Lastaufnehmer 10 und dem gehäusefesten Grundkörper 1 angeordnet, durchsetzt diesen Bereich in einer Durchbrechung 48, 59 quer und ist durch eine am gehäusefesten Grundkörper 1 angeordnete Hubvorrichtung 73, 73' wahlweise in eine mit Kraftübertragungselementen 44, 44', 55, 55' in Wirkverbindung tretende Kalibriervorrichtung oder in eine das Kalibriergewicht 49, 59 deaktivierende Position bringbar.

Bei den in Figuren 8 und 10 gezeigten Ausführungsformen ist das Kalibriergewicht im Bereich dicht vor dem Lastaufnehmer 10 angeordnet und die das Kalibriergewicht tragenden Hebelelemente sind frei durch den Lastaufnehmer 10 hindurchgeführt. Bei diesen Ausführungsformen kann die Aufnahme für das Kalibriergewicht auch als separates Teil starr an den dafür vorgesehen Hebel angeschraubt sein, wie dies in dem Ausführungsbeispiel nach Figur 12 dargestellt ist. Diese Ausführungsform entspricht prinzipiell der in Figur 10, sodass auf die Beschreibung zu dieser Figur 10 verwiesen werden kann. Abweichend davon weist der Lastaufnehmer 10 zwei Vorsprünge 80 mit Bohrungen 81 zum Anflanschen eines Waagschalenträgers auf. Das Aufnahmelager für das Kalibriergewicht 60 umfasst ein Joch 84 mit den Vertiefungen 68 zur Aufnahme des Kalibriergewichtes 60 in der gezeigten Kalibriervorrichtung und die beiden Stangen 85, die das Joch 84 mit dem Hebel 24, 25 verbinden. Die beiden Stangen 85 durchsetzen den Lastaufnehmer 10 frei durch die Durchbre-



chungen 83 und sind mit je einer Schraube 82 starr mit dem Hebel 24, 25 verschraubt. Auch bei dieser Ausführungsform ist die nicht dargestellte Kalibriergewichtsschaltung mit Hubmechanik auf einer gemeinsamen Grundplatte oder Chassis mit dem Wägaufnehmer angeordnet.

[0051] Vorzugsweise erfolgt die Herstellung des monolithischen Teils des Wägaufnehmers durch Fräsen. Als Material wird vorzugsweise ein Metall mit guten elastischen Eigenschaften z.B. Aluminiumlegierung, eingesetzt. Die Strukturierung der Einzelelemente ist jedoch teilweise auch durch Drahterosion möglich. Denkbar ist auch eine Fertigung durch Druckgießen oder auch Spritzgießen (z. B. mit einem glasfaserverstärkten Kunststoff) in Kombination mit anderen Bearbeitungstechniken.

Liste der bezeichneten Teile (Bezugszeichenliste)

[0052]		20
1	gehäusefester Grundkörper	34
2	vorkragender Teil, Bereich am Grundkörper	35
2', 2"	Stufung	36
3	vorkragender Teil, Bereich am Grundkörper	25 37
3'	Stufung	37
4, 4'	Lagerstellen für den ersten Hebel	38, 38'
5, 5'	Lagerstellen für den zweiten Hebel	30
6	Fußbereiche des Grundkörpers 1	39
7	Befestigungslaschen für den Permanentmagneten	40
8	vertikales Loch für den Permanentmagneten	35 41
9	horizontales Durchgangsloch durch den Grundkörper	42
10	Lastaufnehmer (trägt die Waagschale)	43
11	unterer Lenker	
12	oberer Lenker	40
13	Vorsprung am Lastaufnehmer	44
14	Gelenkstelle zwischen unterem Lenker und Lastaufnehmer, Dünnstelle	45
15	Gelenkstelle zwischen oberem Lenker und Lastaufnehmer, Dünnstelle	46 47
16	Gelenkstelle zwischen unterem Lenker und Grundkörper, Dünnstelle	45 48
17	Gelenkstelle zwischen oberem Lenker und Grundkörper, Dünnstelle	49 50
18, 18'	Koppelemente zwischen Lastaufnehmer und ersten Hebel	51 52
19, 19'	Gelenkstellen zwischen Koppelement und Vorsprung am Lastaufnehmer	53
20, 20'	Gelenkstellen zwischen Koppelement und erstem Hebel	55 54
21	kurzer Hebelarm des ersten Hebels	55
22	langer Hebelarm des ersten Hebels	56

Koppelement zwischen erstem und zweitem Hebel

kurzer Hebelarm des zweiten Hebels

langer Hebelarm des zweiten Hebels

Teilkoppelgelenke zwischen zweitem und drittem Hebel

langer Hebelarm des dritten Hebels (aufgespaltener Teil)

langer Hebelarm des dritten Hebels (nicht aufgespaltener Teil)

kurzer Hebelarm des dritten Hebels (aufgespalten)

Abstützelemente für den dritten Hebel

Abstützpunkte am Grundkörper für das Abstützelement 30 bzw. 30'

Gelenkstellen zwischen Abstützelement 30 bzw. 30' und dem dritten Hebel

Gelenkstellen zwischen Abstützelement 30 bzw. 30' und dem Grundkörper

Spule

Ausnehmung im oberen Lenker 12

Ausnehmung im unteren Lenker 11

Obere Abschlussfläche des vorkragenden Teils 3

Stufung

Gelenkstellen zwischen dem Koppelement 23 und dem kurzen Hebelarm des zweiten Hebels

Stufung des oberen Teils des vorkragenden Teils 3

Stufe am Lastaufnehmer 10 zur Befestigung der Waagschale

optischer Lagensensor

Verstärkung zwischen kurzem und langem Hebelarm des ersten Hebels

Gelenkstelle zwischen langem Hebelarm 22 des ersten Hebels und dem

Koppelement 23

zusätzlicher Hebel

seitlicher Vorsprung

Koppelement

Vertiefung, Aufnahme für Kalibriergewicht 49

Durchbruch

Kalibriergewicht

rechter Teil des Lastaufnehmers

linker Teil des Lastaufnehmers (trägt die Waagschale)

Materialsteg zwischen rechtem und linkem Teil des Lastaufnehmers

Ausnehmung zwischen den Materialstegen 52

Gewindebohrungen zum Befestigen der Waagschale/Unterschale

zusätzlicher Hebel

seitlicher Vorsprung

57/58	Kniehebelsystem	
59	Durchbruch	
60	Kalibriergewicht	
61	vertikale Verlängerung vom zweiten Übersetzungshebel 24/25	5
62, 62'/62"	horizontaler Hebelarm, Teile vom Hebelarm	
63, 63'	Nut	
64	Ausnehmung	
65	Dünnstelle	10
66	Dünnstelle	
67	Dünnstelle	
68	Vertiefung	
69	Vorsprung	
70	Aufnahme für Kalibriergewicht	15
73, 73'	Hubvorrichtung für Kalibriergewicht 49	
79, 79'	Enden des Kalibriergewichtes 49	
80	Vorsprung von 10	
81	Bohrung	
82	Schraube	20
83	Durchbrechung	
84	Joch	
85	Stange	
84, 85	angeschraubtes Aufnahmelager	25

#### Patentansprüche

1. Aus einem Materialblock gebildeter Wägeaufnehmer für eine elektronische Waage nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation, mit einem an einem feststehenden Grundkörper des Materialblocks durch Parallelführungselemente geführten beweglichen Lastaufnehmer und mehreren zwischen diesem, einem Spulenträger und dem Grundkörper wirkungsmäßig in Reihe angeordneten Kraftübertragungselementen, dadurch gekennzeichnet, dass die aneinandergeschlossenen einzelnen Kraftübertragungselemente (10,11,12,13 bis 34,38,38',42,43,44,44',46,55,55',57, 58,62,) entweder symmetrisch zu einer durch den Spulenträger (28) und den Lastaufnehmer (10) verlaufenden vertikalen Mittellängsebene in dieser oder geometrisch und kraftmäßig aufgeteilt und symmetrisch beabstandet von dieser Mittellängsebene angeordnet und ebenfalls Bestandteil des Materialblocks sind, wobei sich ein vorkragender Teil (2,3) des Grundkörpers (1) teilweise zwischen geometrisch und kraftmäßig aufgeteilten Kraftübertragungselementen (11,12; 25,25'; 27,27'; 29,29'; 30,30'; 44,44',46; 55,55',57,58; 61) erstreckt und der vorkragende Teil (2,3) für einen Teil der Kraftübertragungselemente (22; 24) Widerlager oder Lagerstellen (4,4'; 5,5') bildet.
2. Wägeaufnehmer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein vorkragender Teil (3) des Grundkörpers (1) in Bezug auf die vertikale Mittellängsebene in dieser mindestens eine Stufung (37,39) aufweist.
3. Wägeaufnehmer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein vorkragender Teil (2,3) des Grundkörpers (1) in Bezug auf die vertikale Mittellängsebene sowohl in dieser als auch quer zu dieser mindesten je eine Stufung (37,39; 2',2'',3') aufweist.
4. Wägeaufnehmer nach einem der Ansprüche 1-3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftübertragungselemente (10,11,12,13-34,38,38',43) mindestens einen Übersetzungshebel (24,25,25'; 27,27',28,29,29') aufweisen, der zumindest teilweise in zwei Teilhebel aufgeteilt ist, von denen ein Teil (24; 28) symmetrisch in der vertikalen Mittellängsebene und ein Teil (25,25'; 27,27',29,29') beiderseits eines vorkragenden Teiles (3) des Grundkörpers (1) angeordnet ist.
5. Wägeaufnehmer nach einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftübertragungselemente (10,11,12,13 bis 34,38,38',43) drei Übersetzungshebel aufweisen, wobei ein erster Übersetzungshebel (21,22) ein nicht aufgeteilter Winkelhebel ist, ein zweiter Übersetzungshebel (24,25,25') ein gerader, zweiarmer Hebel ist, der sich senkrecht erstreckt und bis auf einen kurzen Hebelarm (24) in zwei Teilhebel (25,25') gabelförmig aufgeteilt ist, und ein dritter Übersetzungshebel (27,27',28) ebenfalls ein Winkelhebel ist, der zum Teil gabelförmig aufgeteilt ist und zum Ende hin in Richtung der Spule (34) wieder zusammengeführt ist.
6. Wägeaufnehmer nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Breite des vorkragenden Teils (3) des Grundkörpers (1) geringer ist als die Breite der Lenker (11, 12) und dass die Breite der Teilhebel (25, 25', 27, 27') und der Teilkoppelemente (26, 26', 38, 38') so gering ist, dass weder die Teilhebel noch die Teilkoppelemente an irgendeiner Stelle seitlich über die Lenker hinausragen.
7. Wägeaufnehmer nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Breite des vorkragenden Teils (3) des Grundkörpers (1) etwa 40 % der Breite der Lenker (11, 12) beträgt und die Breite der Teilhebel (25, 25', 27, 27') und der Teilkoppelemente (26, 26', 38, 38') je etwa 10...20 % der Breite der Lenker.
8. Wägeaufnehmer nach einem der Ansprüche 1 - 5 dadurch gekennzeichnet, dass der erste Übersetzungshebel (21/22) ein nichtaufgeteilter Winkelhebel ist, dass der zweite Übersetzungshebel

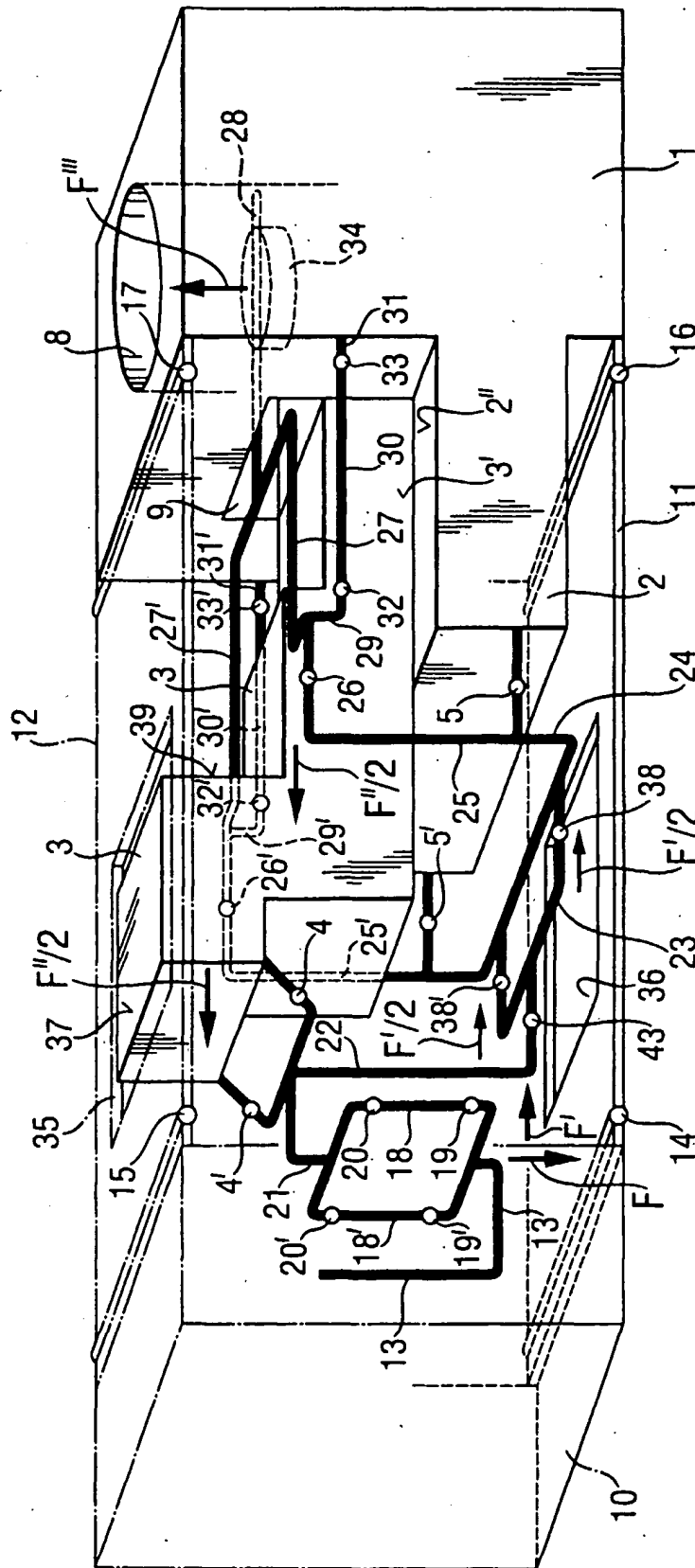
- (24/25/25') ein gerader, zweiarmiger Hebel ist, der sich senkrecht erstreckt und bis auf einen kurzen Hebelarm (24) in zwei Teilhebel (25,25') aufgespalten ist, und dass der dritte Übersetzungshebel (29/29'/27/27'/28) ein horizontal und vertikal abge- 5 gekröpfter Winkelhebel ist, der zum Teil gabelförmig aufgespalten ist und zum Ende hin in Richtung der Spule (34) wieder zusammengeführt ist und an seinem Endbereich ein integriertes Aufnahmelager für die Spule (34) und einen optischen Lagensensor (41) aufweist. 10
9. Wägeaufnehmer nach einem der Ansprüche 1 - 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (1) außerhalb der Lenker (11, 12) ein vertikales Loch 15 (8) für den Permanentmagneten aufweist, wobei um das Loch (8) herum überall noch mindestens ein fünf mm breiter Materialsteg stehenbleibt.
10. Wägeaufnehmer nach einem der Ansprüche 1 - 9, 20 dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (1) ein waagerechtes, durchgehendes Loch (9) aufweist, in das der lange Hebelarm (28) des dritten Hebels hineinragt, und dass das Loch (9) nach oben, unten und zu beiden Seiten hin von mindestens 5 mm Material umschlossen ist. 25
11. Wägeaufnehmer nach einem der Ansprüche 1 - 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Lenker (11, 12) über ihre ganze Länge dieselbe Breite aufweisen und dass die Lenker (11, 12) eine mittige Ausnehmung (35, 36) aufweisen, die auf jeder Seite mindestens 5 mm Material stehen lässt. 30
12. Wägeaufnehmer nach einem der Ansprüche 1 - 11, 35 dadurch gekennzeichnet, dass der Lastaufnehmer (10) auf seiner Oberseite und auf seiner Unterseite je eine horizontale Stufe (40) aufweist, an der die Verbindungselemente zur Schale, bzw. zur Unterschale befestigt sind, und dass die Stufe (40) sich genau auf der Höhe der Dünnstellen der Gelenkstellen (15 bzw. 14) zwischen Lastaufnehmer (10) und Lenker (12 bzw. 11) befinden. 40
13. Wägeaufnehmer nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Stufe (40) eine geringere Breite aufweist als die Lenker (11,12). 45
14. Wägeaufnehmer nach einem der Ansprüche 1 - 11, 50 dadurch gekennzeichnet, dass der Lastaufnehmer (50/51) eine sich im Wesentlichen in vertikaler Richtung erstreckende Ausnehmung (53) aufweist, die den Lastaufnehmer (50/51) in zwei Teile unterteilt und die an ihrer Oberseite und an ihrer Unterseite nur je einen dünnen horizontalen Materialsteg 55 (52) als Verbindung zwischen den beiden Teilen des Lastaufnehmers (50/51) belässt, dass die Lenker (11, 12) an dem einen Teil (50) des Lastaufnehmers angreifen, während die Schale, bzw. Unterschale am anderen Teil (51) des Lastaufnehmers befestigt sind und dass sich die horizontalen Materialstege (52) genau auf der Höhe der Dünnstellen der Gelenkstellen (14, 15) zwischen Lastaufnehmer (50/51) und Lenker (11, 12) befinden.
15. Wägeaufnehmer nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation, dessen wesentliche Teile aus einem einzigen Metallblock herausgearbeitet sind, mit einem Lastaufnehmer (10), der durch einen oberen Lenker (12) und einen unteren Lenker (11) mit dem Grundkörper (1) verbunden ist, mit mindestens drei Übersetzungshebeln (21,22; 24,25,25';29,29',27,27'28) zur Kraftumsetzung, mit Koppelementen (18,18' 23) zwischen den Übersetzungshebeln (21,22; 24,25,25';29,29',27,27'28) und zwischen dem Lastaufnehmer (10) und dem ersten Übersetzungshebel (21, 22), wobei der Grundkörper (1) sich in Richtung zum Lastaufnehmer (10) vorkragend in den Raum zwischen den beiden Lenkern (11,12) hinein erstreckt und nahe an seinem vorkragenden Ende den Abstützpunkt (4,4') für den ersten Übersetzungshebel (21,22) bildet, mit einer Spule (34), die am längeren Hebelarm (28) des letzten Übersetzungshebels (28,29,29') befestigt ist und die sich im magnetischen Feld eines gehäusefesten Permanentmagneten befindet, wobei mindestens ein Übersetzungshebel zumindest teilweise in zwei Teilhebel (25, 25'; 27, 27'; 29, 29') aufgeteilt ist, dass mindestens ein Koppelement in zwei Teilkoppelemente (26, 26'; 38, 38') aufgeteilt ist und die Teilhebel und die Teilkoppelemente symmetrisch auf beiden Seiten des vorkragenden Teils (3) des gehäusefesten Bereiches (1) angeordnet sind und alle Übersetzungshebel, alle Teilhebel, alle Koppelemente und alle Teilkoppelemente monolithischer Bestandteil des Metallblocks sind.
16. Wägeaufnehmer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Kraftübertragungselement (44, 55, 61,62) für die Auflage eines Kalibriergewichtes (49, 60) monolithischer Bestandteil des Materialblockes ist.
17. Wägeaufnehmer nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Kraftübertragungselement ein Hebel (44, 55, 61,62) ist und eine Aufnahme (47, 68) für die direkte Auflage eines Kalibriergewichtes (49, 60) aufweist.
18. Wägeaufnehmer nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Hebel in zwei Hebel (44/44', 55, 62/62'') aufgespalten ist.
19. Wägeaufnehmer nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass der die Auf-

nahme (47, 68) für das Kalibriergewicht (49, 60) aufweisende Hebel (44, 55, 62) an einem der Übersetzungshebel (21/22, 24/25, 27/28/29) angreift.

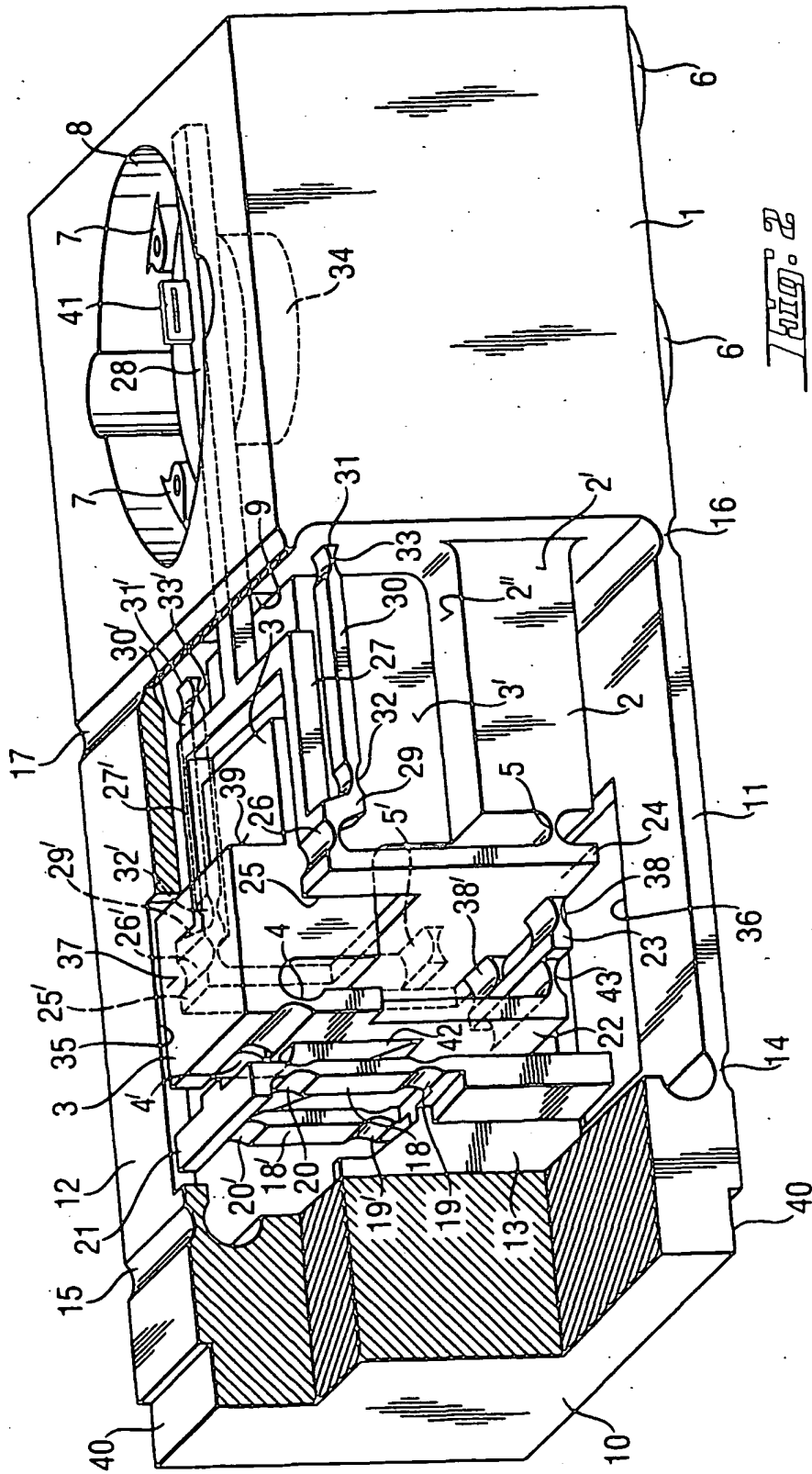
20. Wägaufnehmer nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Kalibriergewicht (49, 60) zylinderförmig ausgebildet ist, wobei die Länge längs der Zylinderachse größer ist als die Breite des Materialblockes. 5
21. Wägaufnehmer nach Anspruch 1 und 15, dadurch gekennzeichnet, dass einer der Kraftübertragungselemente (21/22, 24/25, 27/28/29) einen zusätzlichen Hebelarm (61, 62) für die direkte Auflage eines Kalibriergewichtes (60) aufweist und dass dieser zusätzliche Hebelarm (61, 62) ebenfalls monolithischer Bestandteil des Materialblockes ist, oder dass dieser zusätzliche Hebelarm ein angeschraubter Hebelarm (84, 85) für die direkte Auflage eines Kalibriergewichtes (60) ist. 10 15 20
22. Wägaufnehmer nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass am zweiten Übersetzungshebel (24/25) außerhalb seines Ankoppelpunktes (38) des Koppel-elementes (23) ein horizontaler, den Lastaufnehmer (10) durchsetzender Hebelarm (62, 62', 62''); 84, 85) angeordnet ist und dass das Kalibriergewicht (60) auf diesen Hebelarm (62, 62', 62''); 84, 85) direkt auflegbar ist. 25 30
23. Wägaufnehmer nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Hebelarm (62) den Lastaufnehmer (10) mittig in der Symmetrieebene des Wägaufnehmers durchsetzt. 35
24. Wägaufnehmer nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Hebelarm (62; 84, 85) gabelförmig aufgespalten ist und den Lastaufnehmer (10) in horizontalen seitlichen Nuten (63, 63') umgreift oder in seitlichen Durchbrechungen (83) durchsetzt. 40
25. Wägaufnehmer nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Kalibriergewicht (49) im Bereich zwischen Lastaufnehmer (10) und dem gehäusefesten Grundkörper (1) angeordnet ist, diesen Bereich in einer Durchbrechung (48, 59) quer durchsetzt und durch eine am gehäusefesten Grundkörper (1) angeordnete Hubvorrichtung (73, 73') wahlweise in eine mit Kraftübertragungselementen (44, 44', 55, 55') in Wirkverbindung tretende Kalibrierposition oder in eine das Kalibriergewicht (49) deaktivierende Position bringbar ist. 45 50
26. Wägaufnehmer nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass das Kalibriergewicht (49) in der deaktivierten Position in der Durchbrechung

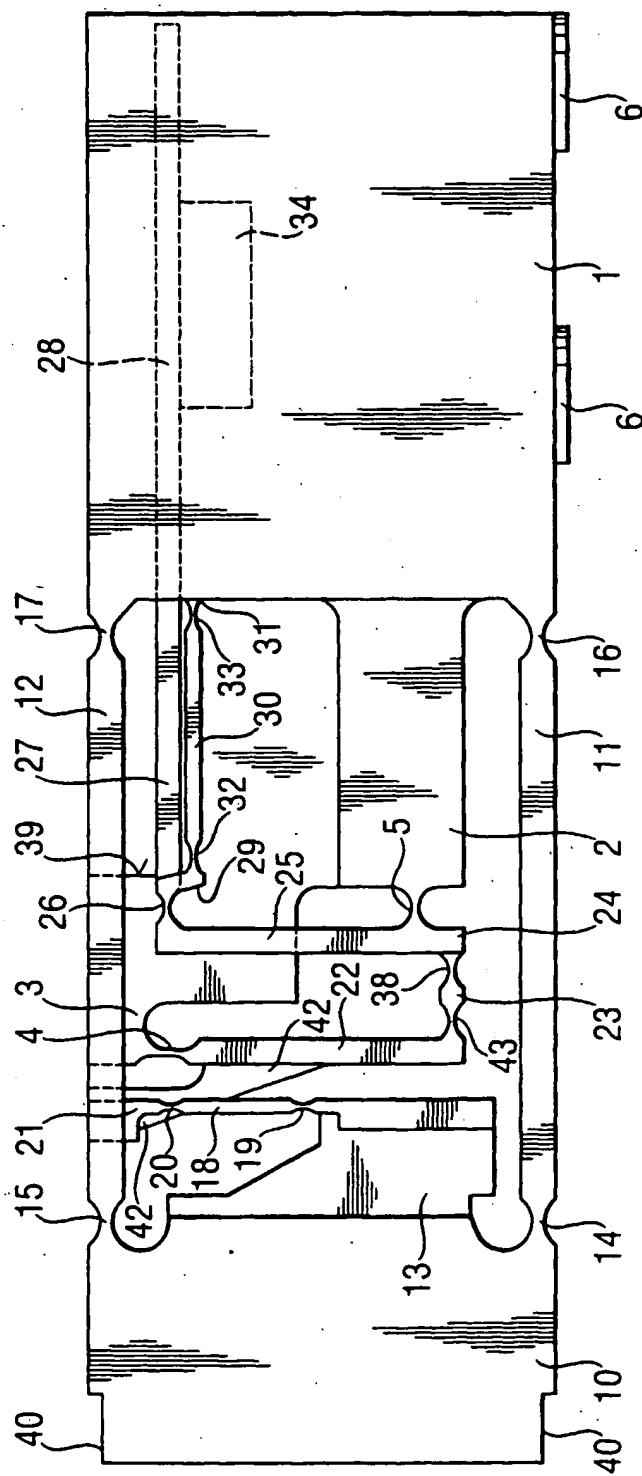
(48, 59) des gehäusefesten Grundkörpers (1) mit der Hubvorrichtung (73, 73') festlegbar ist.

27. Nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation arbeitender Wägaufnehmer, mit einem beweglichen Lastaufnehmer, der durch einen oberen und einen unteren Lenker mit dem feststehenden Bereich des Wägaufnehmers verbunden ist, mit mindestens einem Übersetzungshebel zur Kraftumsetzung, mit Koppel-elementen zwischen dem oder den Übersetzungshebeln und zwischen dem Lastaufnehmer und dem feststehenden Bereich, welcher Stufungen und Lagerstellen für Hebel und Koppel-elemente aufweist, ausgestattet mit einer Spule, die am längeren Hebelarm des letzten Übersetzungshebels befestigt ist und die sich im magnetischen Feld eines ortsfesten Permanentmagneten befindet, wobei ein Hebel ein Aufnahmelager für die direkte Auflage eines Kalibriergewichtes aufweist und wobei alle vorgenannten Funktionselemente mit Ausnahme der Spule, des Permanentmagneten und des Kalibriergewichtes aus einem homogenen Materialblock herausgearbeitete Elemente und monolithische Bestandteile dieses den Wägaufnehmer bildenden Materialblockes sind. 10 15 20 25 30
28. Wägaufnehmer nach Anspruch 27, gekennzeichnet durch in den Ansprüchen 1 bis 26 definierte Einzelmerkmale und Kombinationen davon. 35
29. Nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation arbeitender Wägaufnehmer, mit einem beweglichen Lastaufnehmer, der durch einen oberen und einen unteren Lenker mit dem feststehenden Bereich des Wägaufnehmers verbunden ist, mit mindestens einem Übersetzungshebel zur Kraftumsetzung, mit Koppel-elementen zwischen dem oder den Übersetzungshebeln und zwischen dem Lastaufnehmer und dem feststehenden Bereich, ausgestattet mit einer Spule, die am längeren Hebelarm des letzten Übersetzungshebels befestigt ist und die sich im magnetischen Feld eines ortsfesten Permanentmagneten befindet, wobei ein Hebel ein Aufnahmelager für die direkte Auflage eines Kalibriergewichtes aufweist und wobei alle vorgenannten Funktionselemente mit Ausnahme des Aufnahmelagers, der Spule, des Permanentmagneten und des Kalibriergewichtes aus einem homogenen Materialblock herausgearbeitete Elemente und monolithische Bestandteile dieses den Wägaufnehmer bildenden Materialblockes sind. 40 45 50 55
30. Wägaufnehmer nach Anspruch 29, gekennzeichnet durch in den Ansprüchen 1 bis 26 definierte Einzelmerkmale und Kombinationen davon.



**Fig. 1**





**Fig. 3**

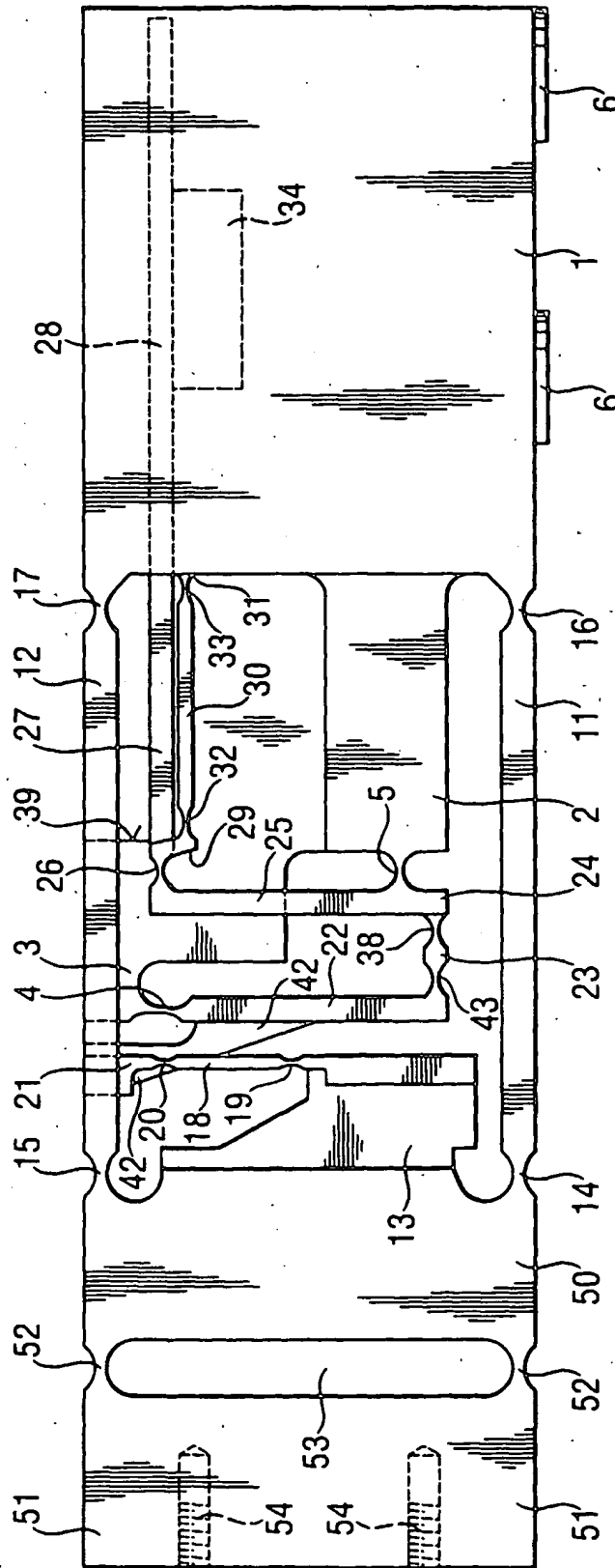
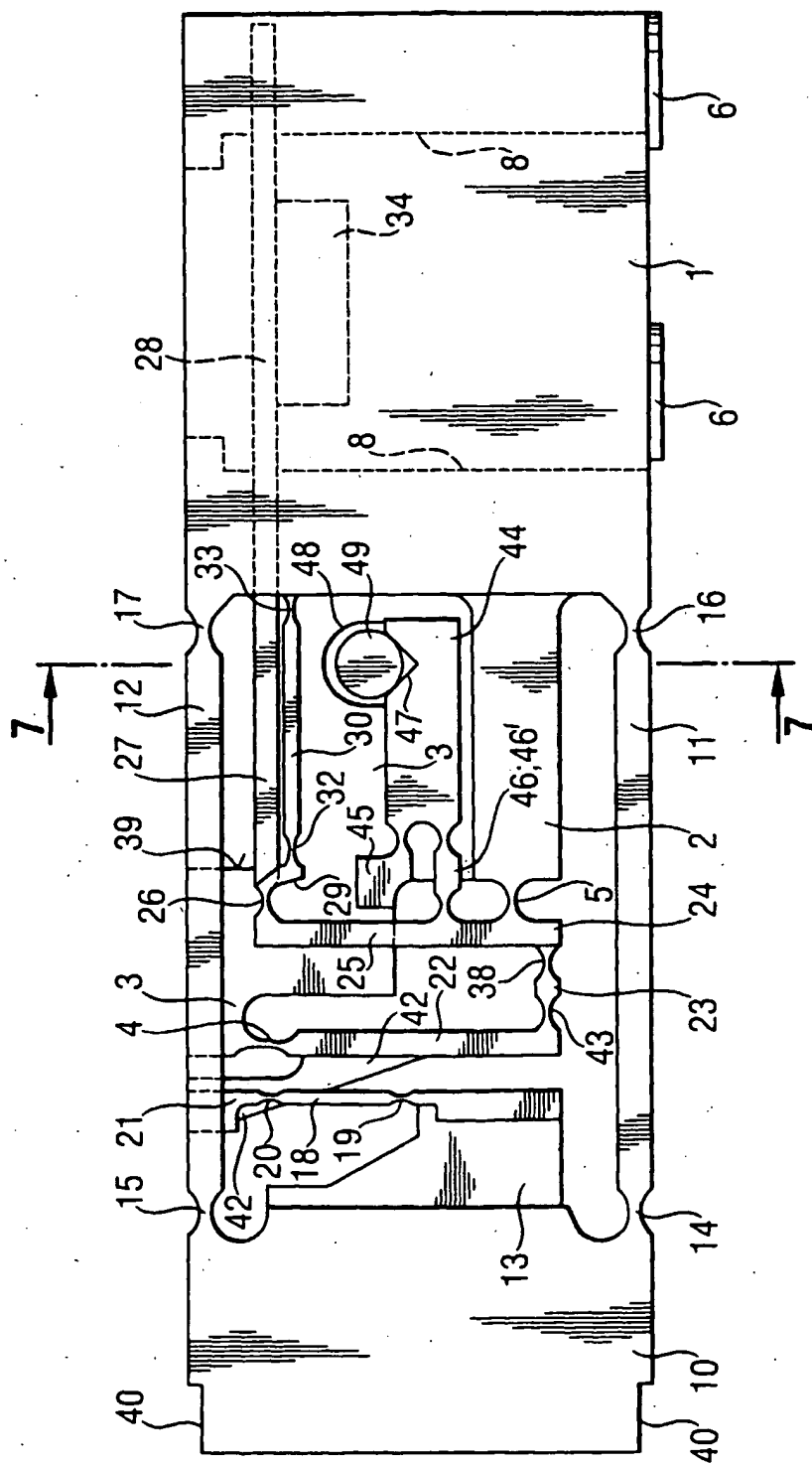
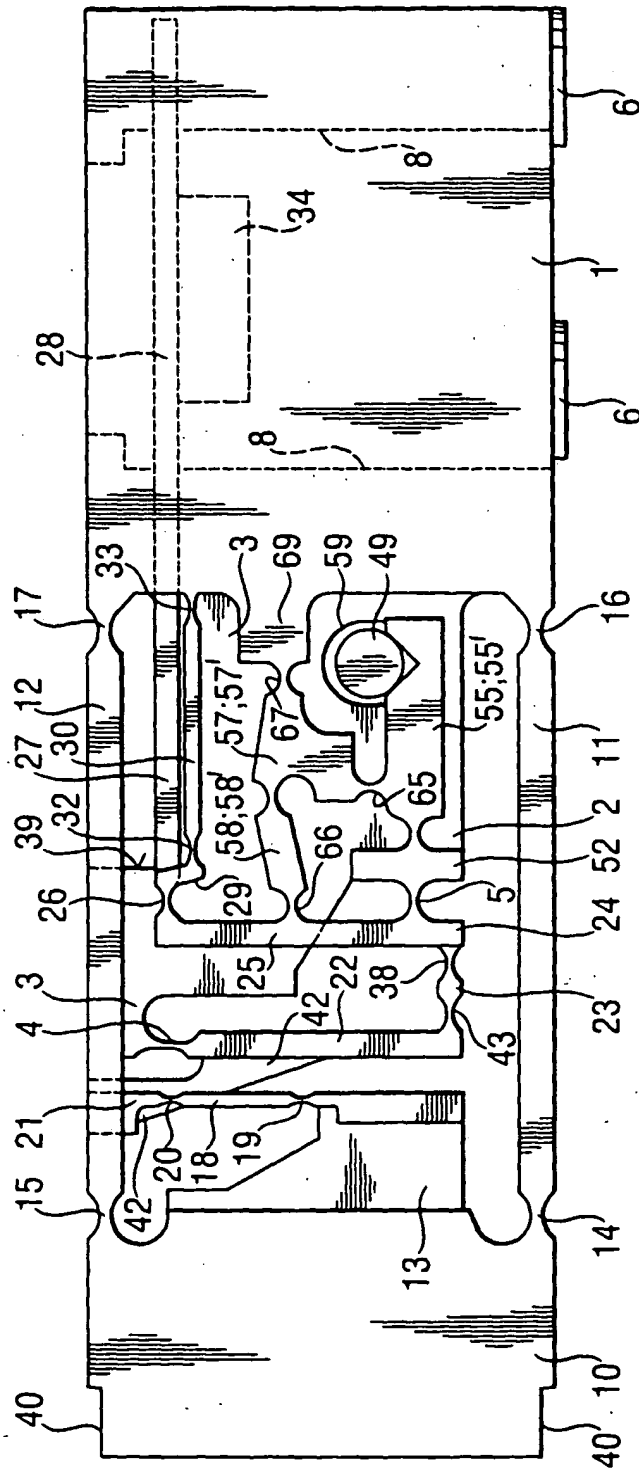


Fig. 4b

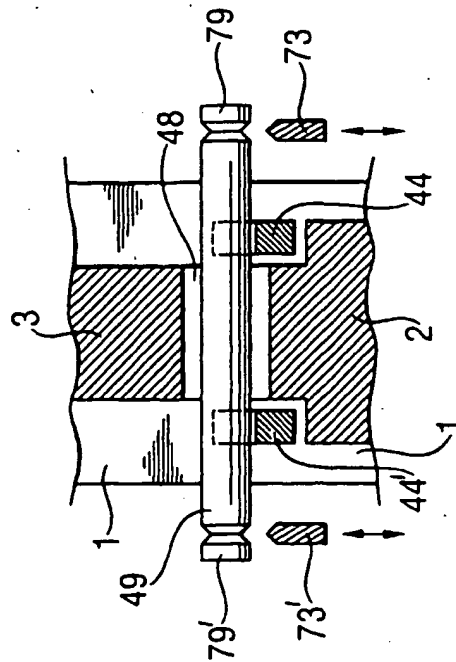




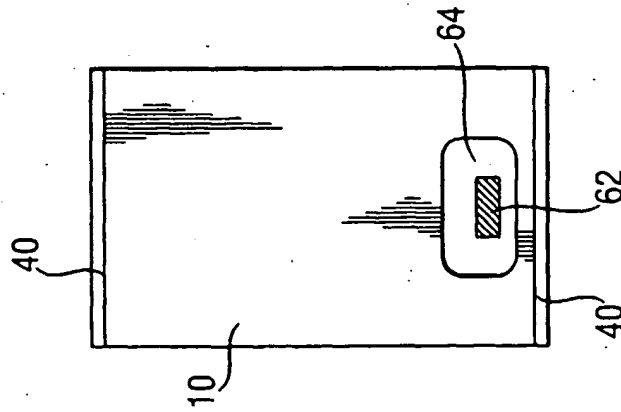
**Fig. 5**



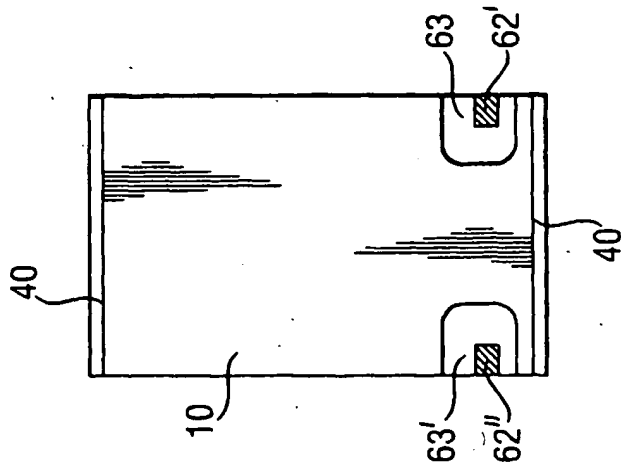
**Fig. 6**



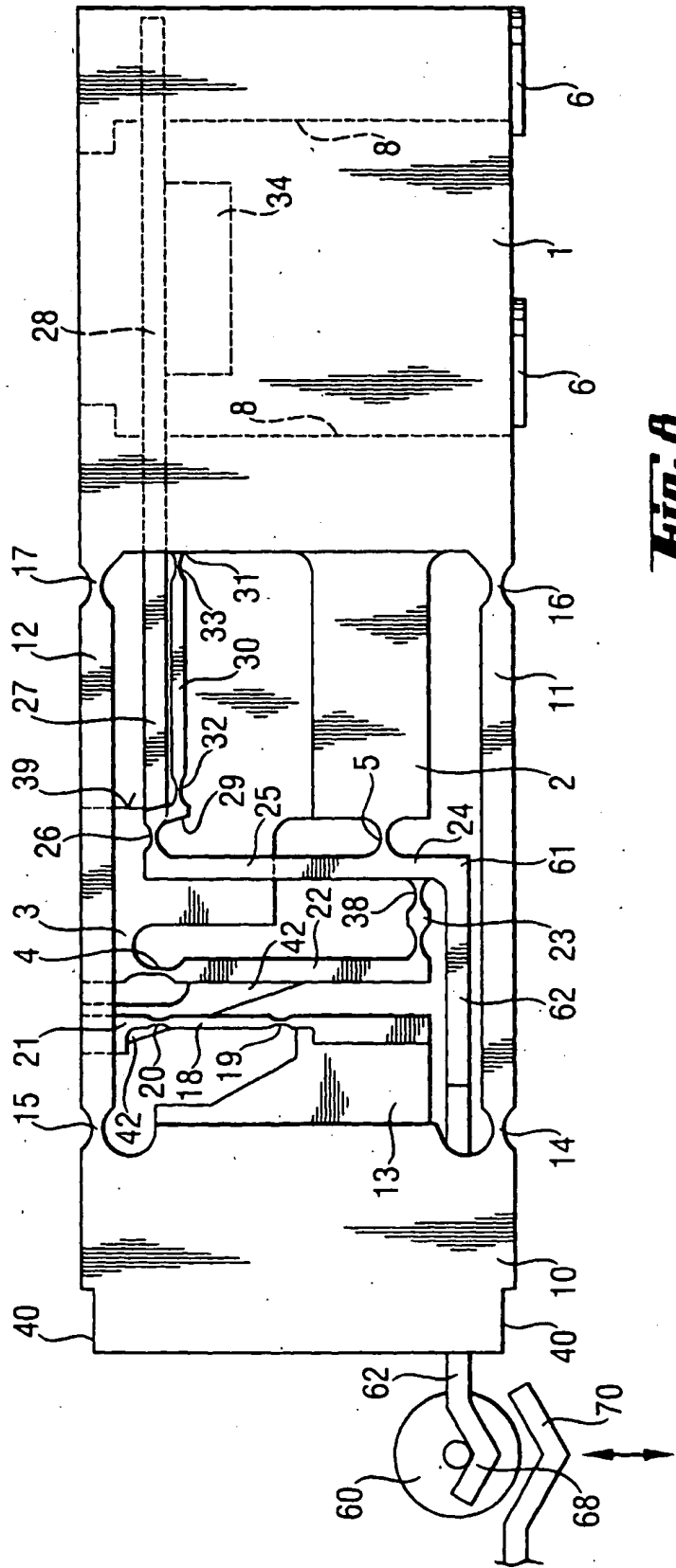
**Fig. 1**



**Fig. 9**



**Fig. 11**



**Fig. 8**

